

УДК 628.971

В.М.ПОЛІЩУК, канд. техн. наук

*Харківська національна академія міського господарства***ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ
ОПТОЕЛЕКТРОННИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА**

Розглядаються світлотехнічні та експлуатаційні характеристики твердотільних джерел світла, що працюють на основі ефекту інжекторної електролюмінесценції, і можливі сфери їх застосування.

Освітлення приміщень і робочих місць є одним з найважливіших факторів успішної діяльності людини, його самопочуття та здоров'я. Тому доля електроенергії (ЕЕ), що витрачається на освітлення, з кожним роком непинно зростає і, за оцінками, у 2007 р. складала майже 20% від всієї спожитої електроенергії. Завдяки значному обсягу в загальних витратах, найбільші можливості економії ЕЕ, що витрачається на освітлення, знаходяться в сфері побутових, суспільних та промислових приміщень. Враховуючи це, для покращення енергоекономічності освітлювальних установок (ОУ) таких об'єктів Європарламент прийняв відповідну директиву 2002/91 ЕС, яка містить вимоги до мінімально допустимій енергоефективності ОУ. Найбільш дієвим засобом енергозбереження в сфері освітлення є, насамперед, використання в ОУ енергоефективних компонентів: джерел світла (ДС), пристроїв керування освітленням, ефективних світлових приладів (СП).

Метою даної роботи є аналіз функціональних параметрів оптоелектронних джерел світла – світлодіодів (СД), а також проблем, які стримують широке впровадження СД освітлення в різноманітних галузях промисловості та побутових приміщеннях.

У даній роботі розглядаються перспективні ДС, застосування яких в ОУ може значною мірою вирішити проблему енергозбереження в освітленні. До таких перспективних ДС слід віднести малопотужні розрядні лампи (РЛ) з керамічним пальником, безртутні РЛ високого тиску та компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ) з датчиком присутності та природного освітлення і відносно нове ДС – світлодіод (СД). Згідно з програмою Green Light, основний напрямок підвищення ефективності існуючих ОУ повинен бути спрямований на широке впровадження інтегрованих КЛЛ, які на сьогодні є найбільш реальними засобами енергозбереження, оскільки світлова віддача їх майже у 5 разів перевищує цей показник у ламп розжарювання, а строк служби більший у 10 разів. Але аналіз ефективності енергоощаджуючих КЛЛ показує, що вони мають цілу низку суттєвих недоліків, що дає привід розглядати їх як перехідний етап до використання більш ефективних

ДС. Це, насамперед, стосується спектрального складу випромінювання, що має лінійчастий характер, крім того, КЛЛ є суттєво нелінійним навантаженням, що споживає несинусоїдальні струми з великим складом вищих гармонік і при їх масовому впровадженні призведе до загострення проблеми якості ЕЕ в електричних мережах. Крім того, відносно велике світяще тіло створює проблеми при розробці СП за заданим світлорозподілом і високим ККД. Все це, а також висока ціна та екологічна небезпечність КЛЛ, дають привід вважати їх як перехідний етап до впровадження більш досконалих ефективних ДС на основі останніх досягнень електронної техніки та нанотехнологій, яким є світлодіод [1]. Новими альтернативними ДС, які спроможні революціонізувати світлотехнічну галузь є твердотільні пристрої, що засновані на явищі інжекторної електролюмінесценції. Розробка потужних ДС на цій основі дала змогу почати активно впроваджувати їх для створення світлотехнічних пристроїв різноманітного призначення незважаючи на те, що досягнута світлова віддача їх складає біля 80 лм/Вт, а вартість генерованої світлової енергії більша, ніж у КЛЛ. Але, за даними експертів, світловий потік СД кожні 10 років зростає в 30 разів, а ціна знижується в 10 разів. Теоретичний максимум світлової віддачі білих СД – близько 400 лм/Вт, а зважаючи на реальні досягнення, поставлена задача досягти до 2020 р. світловіддачі в 200 лм/Вт є реальною. Сьогодні компанією Edison Opto Corp (ЕОС) досягнута світлова віддача білих СД 240-250 лм/Вт при струмі збудження 1А. Світлова віддача при струмі 300 мА складає 100 лм/Вт а строк служби перевищує 50 тис. годин [2].

Завдяки таким властивостям, як низьке електроспоживання, високу світлову віддачу, екологічність, великий строк служби СД є по суті ДС наступного покоління і знаходять застосування практично в усіх типах ОУ: світлосигнальних, внутрішнього та зовнішнього освітлення. ОУ з СД починають поступово витіснити традиційні, насамперед, з тих галузей, де є вибухонебезпечне середовище, вимоги екологічності, потрібні підвищений строк служби, відсутність нагріву, компактність установки.

Створення багатокольорових СД значно розширило сферу їх використання, зокрема, з'явилась можливість генерації білого випромінювання заданого спектрального складу, що відповідає високим (85-90) загальним індексам кольоропередачі R_a . Як відомо, існує два методи генерації білого світла СД, один з яких реалізується за рахунок випромінювання синього кристалу та люмінофора, який перетворює сине світло в біле, проходячи через жовтий люмінофор (це р-LED СД). Інший спосіб – це коли біле світло отримують за рахунок змішування ви-

промінювання синього, зеленого та червоного кристалів (це RGB-LED СД). Основним енергетичним параметром, що характеризує ефективність перетворення ЕЕ в світлову, є внутрішній квантовий вихід, що являє собою відношення числа фотонів до числа інжекттованих електронів. Величина квантового виходу безпосередньо залежить від якості світлодіодних матеріалів. Нині в сфері удосконалення нанотехнологій проводяться роботи по удосконаленню процесів вирощування високоякісних р-п гетероструктур на основі InGaN/AlGaN/CaN з мінімально можливою щільністю дислокацій і багаточисельними квантовими ямами, що необхідно для отримання близько до 100% внутрішнього квантового виходу з СД. Паралельно створюються люмінофори з розміром кристалітів порядку 3 нм для більш ефективного перетворення синього випромінювання в білих СД.

Зовнішній квантовий вихід випромінювання синіх СД досягає 63%, а світлова віддача білих – 150 лм/Вт. Провідною фірмою Gree Lighting розроблено СД великої площі, що має світловий потік більш як 1000 лм для холодно-білого кольору ($T_{\text{ц}} = 4500\text{K}$). Взагалі підбором відповідного люмінофора можливо отримати тепло-біле світло з $T_{\text{ц}} = 2700\text{K}$, нормальне біле з $T_{\text{ц}} = 3500\text{K}$, та основне біле з $T_{\text{ц}} = 6500\text{K}$ [3].

Експерти відмічають суб'єктивно кращі по освітленості, кольору та чіткості сприйняття якості освітлення СП з СД у порівнянні зі звичайними СП з розрядними лампами НЛВТ, але об'єктивно освітленість від СД дещо нижча. Причина цього полягає в особливостях спектра випромінювання білих СД, що мають значну синю складову, а також те, що при слабкому освітленні людське око більш чутливе саме в цій ділянці спектра.

Основною вимогою до освітлення СД є якість білого світла, яка характеризується однорідністю в межах всього світлового пучка, а також малий розкид по координатам кольоровості. Використовуючи відповідний люмінофор, який збуджується синім кристалом, можливо отримати широкі спектри випромінювання з високим індексом кольоророзподілу R_a . Встановлено, що комбінація з кольорових СД не дозволяє отримати біле випромінювання з високим R_a , тому необхідна комбінація кольорових СД з білими, чому відповідає $R_a = 90$ при координатах кольоровості: $x = 0,366$, $y = 0,356$, $T_{\text{ц}} = 4260\text{K}$.

Однією з важливих властивостей СД є можливість їх роботи в діапазоні температур $(-45 + 85)^\circ\text{C}$ без суттєвої зміни кольорових параметрів. За даними [3], в діапазоні температур $(-50 - +50)^\circ\text{C}$ для струмів збудження 5, 15, 30 мА колір випромінювання білих СД змінюється несуттєво ($\Delta x/x = 3\%$, $\Delta y/y = 5\%$) так, що розкид кольорових коор-

динат СД x та y , що визначають кількісну характеристику зорового сприйняття даного спектру, знаходиться нижче порогу кольорової чутливості ока людини. Розраховані при цьому за спектрами електролюмінісценції відносні світлові характеристики (сила світла) за формулою

$$I_r = K_m \int_{f1}^{f2} V(\lambda) I(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

(тут I_r – сила світла (відносні одиниці); K_m – максимальна світлова ефективність; $V(\lambda)$ – відносна спектральна світлова ефективність; $I(\lambda)$ – відносна спектральна щільність сили випромінювання) показали, що світловий потік білих СД у даному діапазоні температур змінюється менше ніж на 16%. У той же час встановлено, що при роботі СД у теплонапруженому режимі великих струмів збудження відбуваються, де градаційні процеси світлових параметрів, безпосередньо пов'язані з температурою робочої зони (гетеропереходу) СД. Одночасно великі струми та висока температура негативно впливають і на строк служби СД, оскільки приводять до переміщення дислокацій та зміни внутрішньої структури кристалу. Таким чином, вимоги до надійності та довговічності СД безпосередньо пов'язані з вирішенням проблеми відводу тепла від активної зони СД, а оскільки ефективність СД різко зменшується із збільшенням температури р-п переходу, задача відводу тепла є визначальною при створенні потужних СД. В якості робочих температур доцільно використовувати такі, що відповідають номінальному тепловому режиму щодо досягнення ними теплового балансу (звичайно це температура порядку 25° С). Оскільки безпосередньо виміряти температуру гетеропереходу досить складно, використовують методику, засновану на аналізі кінетики наростання напруги на СД U_n при заданому струмі [3]. Структуру тепловідводу від СД можна уявити у вигляді послідовних елементів RC, де R і C – їх тепловий опір і теплоємність, відповідно. Тоді залежність температури від часу t можливо апроксимувати таким виразом [4]:

$$T(t) = T_c + (1-\nu) P_{\text{ел}} \sum_{i=1}^N R_i [1 - \exp(-t/\tau)]. \quad (2)$$

Тут R_i – тепловий опір i -го елемента, t – характерний час досягнення теплової рівноваги i -го елемента, N – число RC елементів, ν – внутрішня квантова енергія СД, $P_{\text{ел}}$ – спожита електрична потужність СД у стані теплової квазірівноваги, T_c – температура навколишнього середовища.

Таким чином, широкий спектр випромінювання СД, включно з УФ випромінюванням, дає змогу використовувати СД-освітлення в різних галузях: місцевого, інтер'єрного, декоративного, світлосигнального, архітектурного, ландшафтного, в медицині. Розробляються ОУ з СД для реалізації адаптивного кольородинамічного СД освітлення в житлових приміщеннях для підвищення комфортності середовища проживання. Отримання постійної освітленості робочої поверхні вимагає застосування СП з КСС (I_{0a}), що визначається за формулою

$$I_{0a} = I_{00} / \cos^3 \alpha,$$

де I_{00} – осьова сила світла СП, що може бути розрахована по загальному світловому потоку і мінімальному куту виходу α . Для високопотужних СД КСС дуже близька до ламбертовської (косинусоїдальної). Відповідно до стандарту EN 12464-1, коефіцієнт освітленості робочої поверхні $E_{\min}/E_{\text{ср}}$ повинен бути не менше 0,7.

Стабільність кольорових параметрів у світловому пучку також є важливою вимогою до білих СД, що особливо актуально при використанні вторинної лінзової оптики, оскільки будь-яка неоднорідність є негативним моментом.

Нині як фотометрія, так і колориметрія стикаються з проблемою отримання об'єктивних даних при вимірах параметрів СД на існуючому обладнанні. Зокрема, МКО до цього часу не визначено режими, при яких необхідно вимірювати параметри СД. Крім того, метод МКО щодо визначення якості кольоропередачі не дає змоги коректно характеризувати візуальні відчуття від білих СД. У той же час встановлено [5], що чіткість зору залежить як від освітленості, так і кольоропередачі – так, синій і червоний кольори виглядають світліше, ніж жовтий при однаковій освітленості. Це обумовлено тим, що різні спектри випромінювання по-різному впливають на зорову роботоздатність. Тому для ДС з дискретним спектром випромінювання загальний індекс кольоропередачі МКО (R_a) не досить точно відображає якість кольоропередачі. Причиною цього може бути те, що R_a , розраховане по спектру ДС без врахування суб'єктивних особливостей зору. Так, для RGB-СД з $T_c = 6000\text{K}$ суб'єктивна оцінка кольоропередачі суттєво вища, ніж розрахункова R_a , у той же час для ДС з частково безперервним спектром (ЛЛ) суб'єктивні оцінки майже відповідають оцінкам по R_a . Отже, існує нагальна потреба корекції методики розрахунку параметрів СД МКО або введення суб'єктивних критеріїв оцінки світлорозподілу.

Таким чином, можна стверджувати, що широке впровадження твердотільних ДС у всіх галузях світлотехніки означатиме еволюційний крок в якості та енергоефективності освітлення. Основні проблеми, які необхідно вирішити на цьому шляху, – це подальше збільшення

енергетичного виходу випромінювання, розв'язання проблеми ефективного тепловідведення і розробка коректних методів оцінки світло- та кольоропередачі.

- 1.Жаркин А.Ф., Козлов А.Ф. Анализ эффективности энергосберегающих КЛЛ // Светотехника та електроенергетика. – 2007. – №1(9). – С.4-9.
- 2.Айзенберг Ю.Б. Энергосбережение – одна из важнейших проблем современной светотехники // Светотехника. – 2007. – №6. – С.6-10.
3. Юнович А.Э. Современное состояние и тенденции развития светодиодного освещения // Светотехника. – 2007. – №6. – С.21-25.
- 4.Мишик С.И., Никитин С.Н. Тепловые процессы в светодиодах // Светотехника. – 2007. – №5. – С.20-24.
- 5.Биске К., Вандал К. Субъективные оценки цветопередачи в зависимости от спектра излучения // Светотехника. – 2007. – №5. – С.14-19.

Отримано 28.07.2008

УДК 628.971

А.В.САПРЫКА, канд. техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Рассматриваются основные резервы снижения энергозатрат и повышение экономической эффективности работы осветительных установок.

В настоящее время в Украине задача рационального использования электроэнергии и снижения затрат на искусственное освещение относится к важнейшим проблемам. Оптическое излучение все шире используется в современных технологических процессах как в промышленности, так и в сельском хозяйстве. Сегодня наибольший объем генерации световой энергии приходится на разрядные лампы, схемы питания которых еще далеки от совершенства [1]. Исследования отечественных и зарубежных специалистов [1-4] показывают актуальность проблемы внедрения нового поколения светотехнического оборудования, отвечающего современным требованиям по дизайну, экономичности с применением энергоэкономичных источников света.

Целью этой работы является исследование эксплуатационных характеристик современных энергосберегающих осветительных установок.

Проведенные исследования позволили установить некоторые особенности пусковых режимов современных осветительных установок типа ЖКУ «Гелиос» – Россия, «Ватра» – Украина и осветительных установок из Китая с лампами типа ДНаТ, поступающих на отечест-